Труды Зоологического института РАН
Том 320, № 2, 2016, с. 221–244

УДК 556.55+574.52+591.95

ВОЗМОЖНОЕ БУДУЩЕЕ ОСТАТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ИХ ФАУНЫ

Ф. Миклин[1], Н.В. Аладин[2]*, И.С. Плотников[2] и З.К. Ермаханов[3]

[1]*Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan 49006, USA; e-mail: philip.micklin@wmich.edu*

[2]*Зоологический институт Российской академии наук, Университетская наб. 1, 199034 Санкт-Петербург, Россия; e-mail: aral@zin.ru*

[3]*Аральский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», ул. Бактыбай батыра, д. 2, г. Аральск, Казахстан; e-mail: z.ermakhanov@mail.ru*

РЕЗЮМЕ

Аральское море – большое соленое терминальное озеро в Центральной Азии. Начиная с 1960 г. оно быстро высыхало и к сентябрю 2009 г. разделилось на четыре остаточных водоема. Максимальное снижение уровня превысило 26 м, площадь поверхности уменьшилась на 88%, а объем воды – на 92%. Соленость возросла более чем в 20 раз. Еще до современной регрессии Аральское море за последние 10 тысячелетий пережило ряд снижений уровня и его последующего восстановления. До 1960-х гг. основной причиной был периодический поворот Амударьи на запад в направлении Каспийского моря как по естественным причинам, так и в результате человеческой деятельности. Современная регрессия является результатом развития орошения. Она создала множество серьезных проблем. В обозримом будущем восстановление Арала в прежнем виде проблематично, если не невозможно, однако возможно частичное восстановление его отдельных участков. Завершенный в 2005 г. проект позволил повысить уровень Малого (северного) Аральского моря в дальнейшем снизить его соленость. В статье рассматриваются варианты дальнейшей реабилитации Малого моря и возможного восстановления некоторых частей Большого (южного) Арала.

Ключевые слова: Амударья, Аральское море, Сырдарья, соленость, терминальное озеро, фауна

POSSIBLE THE FUTURE OF THE ARAL SEA RESIDUAL WATER BODIES FAUNA

P. Micklin[1], N.V. Aladin[2]*, I.S. Plotnikov[2] and Z.K. Ermakhanov[3]

[1]*Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan 49006, USA; e-mail: philip.micklin@wmich.edu*

[2]*Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Universitetskaya Emb. 1, 199034 Saint Petersburg, Russia; e-mail: aral@zin.ru*

[3]*Aral branch of Kazakh Research Institute of Fishery, Baktybay batyr str. 2, Aralsk, Kazakhstan; e-mail: z.ermakhanov@mail.ru*

ABSTRACT

The Aral Sea, a large saline terminal lake in Central Asia, since 1960 dries quickly, and by September 2009 it had separated into four residual water reservoirs. The maximum water level decline exceeded 26 m, the surface area has decreased by 88% and water volume by 92%. Salinity increased by more than 20-fold. Prior to the modern recession, the Aral Sea experienced a number of water level declines and subsequent recoveries over the last 10 millennia. The

**Автор-корреспондент / Corresponding author*

main causative factor until the 1960s was the periodic westward diversion of the Amu Dar'ya towards the Caspian Sea by both natural and human forces. Modern regression is the result of irrigation development and has caused many severe problems. To restore the Aral Sea to its present state would be very difficult, if not impossible, in the foreseeable future. However, a partial restoration of its separate parts is possible. Completed in 2005 project has allowed to raise the level of the Small (northern) Aral Sea and further reduce its salinity. In the paper are discussed plans for further rehabilitation of the Small Sea and possible restoration of some parts of the Large (southern) Aral Sea.

Key words: Amu Dar'ya, Aral Sea, Syr Dar'ya, salinity, terminal lake, fauna

ВВЕДЕНИЕ

Аральское море представляет собой терминальное бессточное соленое озеро, лежащее посреди обширных пустынь Центральной Азии (Рис. 1). Его водосборный бассейн занимает более 2 млн км^2. Арал получает приток поверхностных вод, но лишен стока. Таким образом, баланс между притоком воды из впадающих в него рек Амударьи и Сырдарьи и чистым испарением (испарение с поверхности озера минус выпадающие на нее осадки) в общем и целом определяет его уровень (Бортник и Чистяева [Bortnik and Chistyaeva] 1990; Micklin 2010, 2014a, 2014b).

В прошлом Аральское море по площади своей поверхности (67500 км^2 в 1960 г.) являлось четвертым в мире по величине континентальным водоемом. На нем было развито промышленное



Рис. 1. Расположение бассейна Аральского моря в Центральной Азии (Micklin and Aladin 2008, с изменениями).
Fig. 1. Location of Aral Sea Basin in Central Asia (Micklin and Aladin 2008, modified).

рыболовство, море также служило важной региональной транспортной артерией. Обширные дельты рек Сырдарьи и Амударьи поддерживали разнообразие флоры и фауны, а также орошаемое земледелие, животноводство, охоту и звероловный промысел, рыболовство и заготовку тростника (Micklin 2014a; Reimov and Fayzieva 2014).

В то время Аральское море было солоноватоводным водоемом со средней соленостью 10 г/л (Бортник и Чистяева [Bortnik and Chistyaeva] 1990). В его фауне насчитывалось порядка 200 видов свободноживущих беспозвоночных, из которых 5 видов были намеренно или случайно вселены людьми (массовые виды приведены в Табл. 1). В ней преобладали виды пресноводного происхождения, но также присутствовали морские виды и выходцы из осолоненных водоемов аридной зоны (Мордухай-Болтовской [Mordukhai-Boltovskoi] 1974; Plotnikov et al. 2014a 2014b; Плотников [Plotnikov] 2016). Ихтиофауна Арала (Табл. 3) была представлена 32 видами. Из них 18 – аборигенные пресноводные виды. Остальные 14 видов рыб (в их числе есть как пресноводные, так и морские виды) – вселенцы как намеренно, так и случайно вселенные человеком во 2-й половине 1950-х гг. Все виды рыб, имевшие промысловое значение, были пресноводными (Карпевич [Karpevich] 1975; Ermakhanov et al. 2012).

Современную геологическую эпоху в истории Аральского моря составляют последние 10 тыся-



Рис. 2. Кердери 1. Мавзолей и реликтовый канал, отходящий от древнего русла Сырдарьи (Н. Аладин сидит рядом с керамическими артефактами; фото: P. Micklin).

Fig. 2. Kerdery 1. Mausoleum with relict channel leading off former bed of Syr Darya in the background (N. Aladin is sitting by ceramic artifacts; photo by P. Micklin).

Таблица 1. Массовые виды свободноживущих беспозвоночных фауны Аральского моря.

Table 1. Dominant species of free-living invertebrate fauna of the Aral Sea.

Виды Species	Статус Status	1960-е 1960s	Конец 1980-х – начало 1990-х End of 1980s – beginning of 1990s	Конец 1990-х – начало 2000-х End of 1990s – beginning of 2000s		В настоящее время Nowadays	
				Малый Арал Small Aral	Большой Арал Large Aral	Малый Арал Small Aral	Большой Арал Large Aral
Protozoa							
Fabrea salina Henneguy	I	–	–	–	?	–	+
Frontonia marina Fabre-Domergue	I	–	–	–	?	–	+
Turbellaria							
Gyratrix hermaphroditus Ehrenberg	A	+	–	–	–	–	–
Rotatoria							
Synchaeta vorax Rousselet	A	+	+	+	–	+	–
S. cecilia Rousselet	A	+	+	+	–	+	–
Brachionus quadridentatus Hermann	A	+	?	+	–	+	–
Brachionus plicatilis Müller	A	+	+	+	+	+	–
K. tropica (Apstein)	A	+	+	+	–	+	–
Keratella quadrata (Müller)	A	+	+	+	–	+	–
Hexarthra fennica (Levander)	A	+	–	?	+	?	–
Hexarthra oxyuris (Zernov)	A	+	–	?	+	+	–
Filinia longiseta (Ehrenberg)	A	+	–	?	–	?	–
Olligochaeta							
Psammorhyctides albicola (Michaelsen)	A	+	–	–	–	–	–
Polychaeta							
Hediste diversicolor (O.F. Müller)	I	+	+	+	–	+	–
Cladocera							
Diaphanosoma brachyurum Lievin	A	+	–	+	–	+	–
Chydorus sphaericus (O.F. Müller)	A	+	–	–	–	+	–
Alona rectangula G. Sars	A	+	–	–	–	+	–
Bosmina longirostris (O.F. Müller)	A	+	–	–	–	+	–
Ceriodaphnia reticulata (Jurine)	A	+	–	+	–	+	–
Moina mongolica Daday	A	+	–	+	+	+?	–
Podonevadne camptonyx (G. Sars)	A	+	+	+	–	+	–
Evadne anonyx G. Sars	A	+	–	+	–	+	–
Cercopagis pengoi aralensis M.-Boltovskoi	A	+	–	–	–	–	–
Anostraca							
Artemia parthenogenetica Bowen et Sterling	I	–	–	–	+	–	+
Copepoda							
Phyllodiaptomus blanci (Guerne et Richard)	A	+	–	–	–	+	–
Arctodiaptomus salinus (Daday)	A	+	–	–	–	–	–
Calanipeda aquaedulcis Kritchagin	I		+	+	+	–	–
Halicyclops rotundipes aralensis Borutzky	A	+	+	+	–	+?	–
Cyclops vicinus Uljanin	A	+	–	–	–	+	–
Acanthocyclops viridis (Jurine)	A	+	+	+	–	+	–
Mesocyclops leuckarti (Claus)	A	+	–	+	–	+	–
Apocyclops dengizicus (Lepeshkin)	I	–	–	–	+	–	–
Schizopera aralensis Borutzky	A	+	+	+	–	+	–

Таблица 1. *Продолжение.*
Table 1. *Continued.*

Виды Species	Статус Status	1960-е 1960s	Конец 1980-х – начало 1990-х End of 1980s – beginning of 1990s	Конец 1990-х – начало 2000-х End of 1990s – beginning of 2000s		В настоящее время Nowadays	
				Малый Арал Small Aral	Большой Арал Large Aral	Малый Арал Small Aral	Большой Арал Large Aral
S. reducta Borutzky	A	+	?	?	–	?	–
Nitocra lacustris (Schmankewitsch)	A	+	+	+	+	+	+?
Mesochra aestuarii aralensis Borutzky	A	+	+?	+	–	+	–
Cletocamptus retrogressus Schmankewitsch	A	+	+	+	+	+	+
Ostracoda							
Cyclocypris laevis (O. F. Müller)	A	+	–	?	–	?	–
Plesiocypris newtoni (Brady et Robertson)	A	+	–	?	–	?	–
Cyprideis torosa (Jones)	A	+	+	+	+	+	+
Amnicythere cymbula (Livental)	A	+	+	?	–	?	–
Tyrrhenocythere amnicola donetziensis (Dubowsky)	A	+	+	?	–	?	–
Limnocythere (Limnocythere) inopinata (Baird)	A	+	–	?	–	?	–
L. (*Galolimnocythere*) *aralensis* Schornikov	A	+	+	?	–	?	–
Cyprinotus salinus (Brady)	I	–	+	+	–	+	–
Eucypris mareotica (Fischer)	I	–	+	+	+	+	+?
Malacostraca							
Dikerogammarus aralensis (Uljanin)	A	+	–	–	–	–	–
Paramysis (Mesomysis) intermedia (Czerniavsky)	I	+	–	–	–	+	–
Palaemon elegans Rathke	I	+	+	+	–	+	–
Rhithropanopeus harrisii tridentata Maitland	I	+	+	+	–	+	–
Bivalvia							
Dreissena polymorpha aralensis (Andrusov)	A	+	–	–	–	+	–
D. p. obtusicarinata (Andrusov)	A, E	+	–	–	–	–	–
D. caspia pallasi (Andrusov	A, E	+	–	–	–	–	–
Cerastoderma rhomboides rhomboides (Lamarck)	A, E	+	–	–	–	–	–
C. isthmicum Issel	A	+	+	+	–	+	–
Hypanis minima minima (Ostroumoff)	A, E	+	–	–	–	–	–
Syndosmya segmentum Récluz	I	+	+	+		+	–
Gastropoda							
Theodoxus pallasi Lindholm	A	+	–	–	–	–	–
Caspiohydrobia spp.	A	+	+	+	+	+	–
Chironomidae							
Chironomus behningi Goetghebuer	A	+	–	+?	–	+	–
Chironomus plumosus (Linnaeus)	A?	+?	–	–		+	–
Baeotendipes noctivaga (Kieffer)	I	–	–	–	+	–	+

Примечание: A – абориген; I – вселенец; E – вымер.
Note: A – aboriginal; I – introduced; E – extinct.

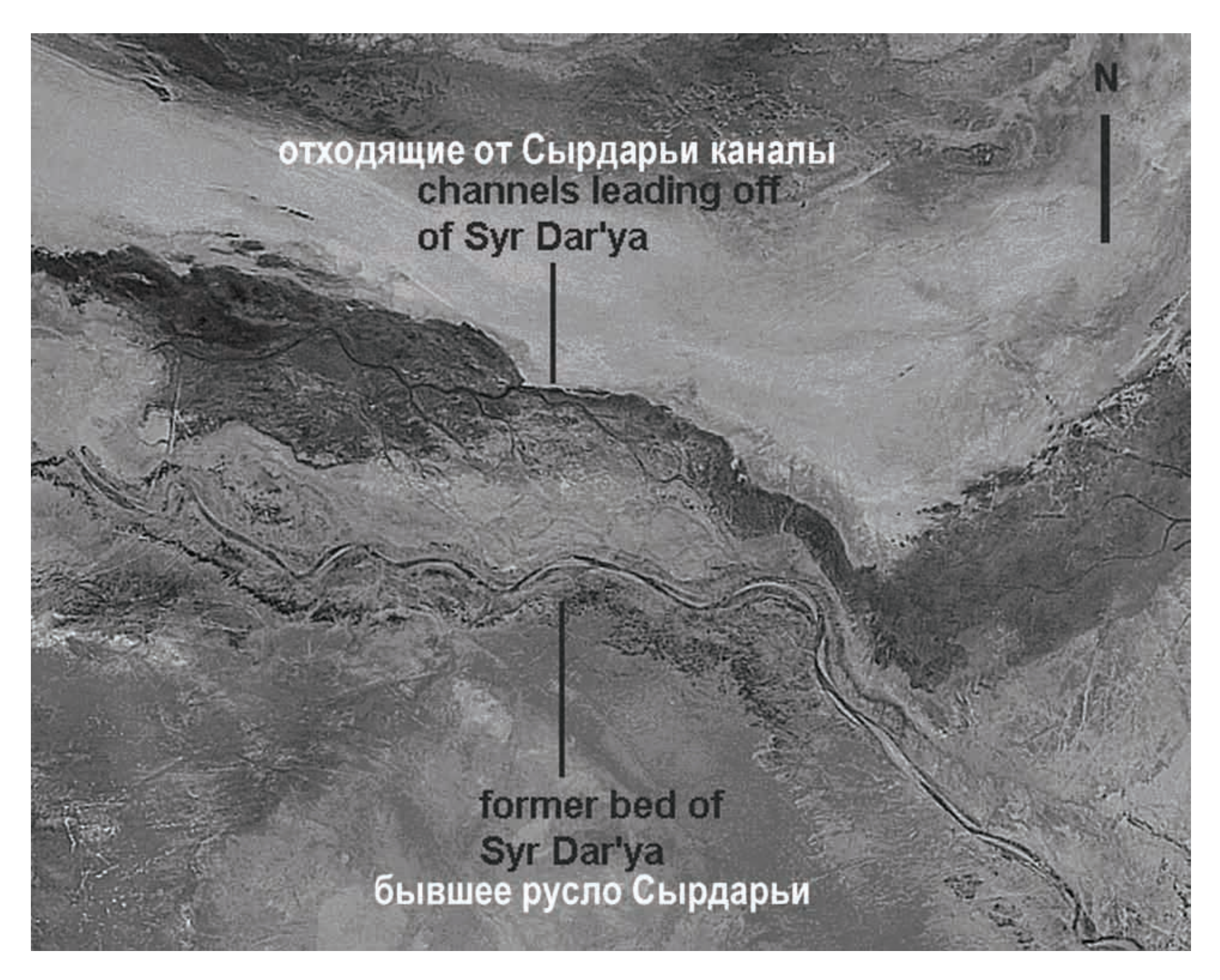


Рис. 3. Landsat band 5 космический снимок от 09.11.2007, показывающий древнее русло Сырдарьи на обсохшем дне Восточного бассейна Большого Арала и отходящие на северо-запад протоки.

Fig. 3. Landsat band 5 Image of 9–11–07 showing former channel of Syr Dar'ya on dried bottom of Eastern Basin of Large Aral with sub-channels leading off to the northwest.

челетий, хотя еще несколько миллионов лет назад на этом месте и существовали водоемы-предшественники. За свою современную геологическую историю озеро пережило целый ряд регрессий и трансгрессий. Большинство регрессий было связано с частичным или даже полным поворотом Амударьи от Арала под воздействием природных сил на запад к Каспийскому морю. Но и древние цивилизации тоже влияли на уровень Арала. Это воздействие включало отбор значительного объема воды на орошение и периодические повороты Амударьи на запад. Орошаемое земледелие возникло на Амударье еще за 3000 лет до н.э. В античное время (IV век до н.э. – IV век н.э.) в Приаралье уже была широко развита ирригация, но в наибольшей степени на уровень Арала влияли повороты этой реки, происходившие как по естественным причинам, так и в результате деятельности человека (Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 1995a; Micklin 2010, 2014b; Krivinogov 2014).

Последняя (предшествовавшая современной) значительная регрессия Арала имела место в период XIII–XVI веков. Уровень моря тогда падал ниже отметки 29 м. Об этом свидетельствуют исторические записи, археологические памятники, со-

хранившиеся пни саксаулов и реликтовые речные русла на обсохшем дне Аральского моря (Рис. 2, 3). Главной причиной той регрессии был антропогенный поворот Амударьи на запад к Каспийскому морю, первоначально вызванный вторжением монголов в Центральную Азию в XIII веке. К середине 1600-х гг. Амударья повернула (или же ее повернули люди) обратно в Арал, и море восстановилось (Krivinogov 2014; Micklin, 2010, 2014b). Оно оставалось в относительно стабильной «высокой» фазе вплоть до современной регрессии, начавшейся в 1960-х гг. Колебания уровня не превышали 4–4.5 м и в основном были связаны с изменениями климата, и, возможно, некоторое влияние оказывала ирригация (Micklin 2014b).

ВЫСЫХАНИЕ АРАЛА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

Однако в 1960 г. из-за крайне нерационального расширения орошения, истощавшего обе питающие реки, началось быстрое высыхание Арала. Площадь моря постепенно уменьшалась, и оно осолонялось (Табл. 2; Рис. 4). Основной причиной регрессии стало расширявшееся орошение, значительно сократившее сток обеих питающих море рек. Как отмечалось выше, люди практиковали орошение в бассейне Аральского моря, по крайней мере на протяжении трех тысячелетий, но до 1960-х гг. оно лишь незначительно снижало сток рек в море (Бортник и Чистяева [Bortnik and Chistyaeva] 1990). Это было возможно благодаря существенному возвратному стоку с орошаемых полей в Амударью и Сырдарью и другим компенсирующим факторам, таким как сокращение потерь на транспирацию фреатофитами (водолюбивыми растениями) в низовьях этих рек и дельтах, а также снижение испарения при уменьшении весеннего паводка в дельтах. Тем не менее рост орошаемых площадей с примерно 5 млн. га в 1960 г. до 8.2 млн. га к 2010 г. уменьшил (или даже устранил) эти компенсаторные эффекты, что сместило равновесие за точку устойчивости и привело к заметному сокращению речного стока в Арал (Micklin 2010, 2014c).

Резкое сокращение речного стока после 1960 г. показано на Рис. 5, а снижение уровня моря – на Рис. 6. Разница между речным стоком и чистым испарением существенно росла на протяжении1960-х – 1980-х гг., что сопровождалось ростом дефицита водного баланса и быстрым падением уровня. Увеличение количества осадков в горах и некоторое снижение изъятия воды на орошение в 1990-х гг. увеличили речной сток и снизили дефицит водного баланса, замедлив этим отступание моря. Период 2002–2010 гг. характеризовался увеличением речного стока и значительным сокращением дефицита водного баланса (Micklin 2014c).

Высыхание Аральского моря привело к серьезным негативным последствиям для всей его фауны. В результате повышения солености (а также и вселения новых видов) в ней произошли значительные изменения (Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 2008; Plotnikov et al. 2014b; Плотников [Plotnikov] 2016). С ростом солености первыми исчезли разнообразные виды беспозвоночных пресноводного происхождения, а затем и солоноватоводные каспийские виды. Обитавшие в Арале двустворчатые моллюски рода *Hypanis* и 2 вида из 3 видов рода *Dreissena* вымерли. В результате к концу 1980-х гг. остались только широко эвригалинные виды. В донной фауне из числа аборигенных видов сохранялись только двустворчатый моллюск *Cerastoderma isthmicum* Issel и брюхоногие моллюски *Caspiohydrobia* spp., а также некоторые фораминиферы, ресничные черви, нематоды и немногие ракушковые рачки. Остальные пережившие осолонение представители зообентоса – это вселенцы морского происхождения: двустворчатый моллюск *Syndosmya segmentum* Récluz, полихета *Hediste diversicolor* (O.F. Müller) и (только в Большом Арале) краб *Rhithropanopeus harrisii tridentata* Maitland. Зоопланктон был представлен только несколькими видами аборигенных инфузорий и эвригалинных коловраток, веслоногим рачком *Halicyclops rotundipes aralensis* Borutzky, несколькими видами гарпактицид и новым доминантом – вселенцем морского происхождения копеподой *Calanipeda aquaedulcis* Kritchagin.

Промышленное рыболовство на Аральском море прекратилось в начале 1980-х гг., когда из-за роста солености исчезли составлявшие основу промысла пресноводные (аборигенные и вселенные человеком) виды рыб. В составе ихтиофауны остались только не имеющие промыслового значения аборигенные рыбы – ерш *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus) девятииглая колюшка *Pungitius platygaster aralensis* (Kessler), а также вселенцы морского происхождения – салака *Clupea harengus membras* (Linnaeus), атерина *Atherina boyeri caspia*

Таблица 2. Гидрологические и соленостные характеристики Аральского моря (1960–2015 гг.).
Table 2. Hydrological and Salinity Characteristics of the Aral Sea (1960–2015).

Год и часть моря Year and portion of sea	Уровень, м н.ур.м. Level, m asl	Площадь, км^2 Area, km^2	% от площади в 1960 г. % 1960 area	Объем, км^3 Volume, km^3	% от объема в 1960 г. % 1960 volume	Средняя глубина, м Average depth, m	Средняя соленость, г/л Average salinity, g/l	% от солености в 1960 г. % 1960 salinity
1960 (все море) 1960 (whole)	53.4	67499	100	1089	100	16.1	10	100
Большое Large	53.4	61381	100	1007	100	16.4	10	100
Малое Small	53.4	6118	100	82	100	13.4	10	100
1971 (все море) 1971 (whole)	51.1	60200	89	925	85	15.4	12	120
1976 (все море) 1976 (whole)	48.3	55700	83	763	70	13.7	14	140
1989 (все море) 1989 (whole)		39734	59	364	33	9.2		
Большое Large	39.1	36930	60	341	34	9.2	30	300
Малое Small	40.2	2804	46	23	28	8.2	30	300
22.09.2009 (все море) 22.09.2009 (whole)		7146	10.6	83	7.7	10.8		
З. бассейн Большого W. Basin Large	27	3588	26.2	56	17.9	15.1	>100	>1000
В. бассейн Большого E. Basin Large	27	516	1.1	0.64	0.07	0.7	>150?	>1500
залив Тще-Бас Tshche-Bas Gulf	28	292		0.51	7.1	1.4	~85	850
Малое Small	42	3200	52	27	33	8.4	8	100–130
29.8 и 25.11 2014 г. (все море) 29.8 and 25.11 2014 (whole)		6990	10.4	48.2	4.4	6.9		
З. бассейн Большого W. Basin Large	25.0	3120	22.8	54	17.2	15.4	>150	>1000
В. бассейн Большого E. Basin Large	25	0	0	0	0	0	0	0
Залив Тще-Бас Tshche-Bas Gulf	28.5	372		0.72		1.4	89	890
Малое Small	41.9	3197	52.3	27	33.2	8.5	6-8	0.6–0.8

Eichwald и бычки: *Pomatoschistus caucasicus* Berg, *Neogobius fluviatilis pallasi* (Berg), *Neogobius melanostomus affinis* (Eichwald), *Neogobius syrman eurystomus* (Kessler), *Proterorchinus marmoratus* (Pallas) и *Neogobius kessleri gorlap* Iljin (Ermakhanov et al. 2012). В результате значительная часть местного населения осталась без работы из-за прекращения промышленного рыболовства и связанной с ним деятельности (Micklin and Aladin 2008). В 1979–1987 гг. в Арал вселили толерантную к со-

Таблица 3. Видовой состав ихтиофауны Аральского моря.

Table 3. Species composition of the Aral Sea ichthyofauna.

Вид Species	Статус вида Species status
Acipenseridae	
Шип / Ship sturgeon *Acipenser nudiventris* Lovetsky	A, C, E
Salmonidae	
Аральский лосось / Aral trout *Salmo trutta aralensis* Berg	A, C, R, E
Clupeidae	
Салака / Baltic herring *Clupea harengus membras* (Linnaeus)	I, R
Esocidae	
Щука / Pike *Esox lucius* Linnaeus	A, C
Cyprinidae	
Аральская вобла / Aral roach *Rutilus rutilus aralensis* Berg	A, C
Туркестанский язь / Orfe *Leuciscus idus oxianus* (Kessler)	A, C-
Жерех / Asp, zherekh *Aspius aspius iblioides* (Kessler)	A, C
Красноперка / Rudd *Scardinius erythropthalmus* (Linnaeus)	A, C-
Туркестанский усач / Turkestan barbel *Barbus capito conocephalus* Kessler	A, C, RB
Аральский усач / Aral barbel *Barbus brachycephalus brachycephalus* Kessler	A, C, RB
Лещ / Bream *Abramis brama orientalis* Berg	A, C
Белоглазка White-eye bream *Abramis sapa aralensis* Tjapkin	A, C
Аральская шемая / Aral shemaya *Chalcalburnus chalcoides aralensis* (Berg)	A, C
Чехонь / Sabrefish *Pelecus cultratus* (Linnaeus)	A, C
Серебряный карась / Crucian carp *Carassius carassius gibelio* Bloch	A, C
Сазан / Carp *Cyprinus carpio aralensis* Spitshakow	A, C
Белый амур / Grass carp *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes)	I, C
Белый толстолобик / Silver carp *Hypophtalmichthys molitrix* (Valenciennes)	I, C
Пестрый толстолобик / Spotted silver carp *Aristichtys nobilis* (Richardson)	I, C
Siluridae	
Сом / Wels *Silurus glanis* Linnaeus	A, C
Atherinidae	
Каспийская атерина / Caspian atherine *Atherina boyeri caspia* (Eichwald)	I+, N
Gasterostidae	
Девятииглая колюшка / Nine-spined stickleback *Pungitius platygaster aralensis* (Kessler)	A, N, R
Percidae	
Судак / Pike perch, zander *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus)	A, C
Окунь / Perch *Perca fluviatilis* Linnaeus	A, C
Ёрш / Ruff *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus)	A, N
Channidae	
Змееголов / Snakehead *Channa argus warpachowskii* Berg	I+, C
Gobiidae	
Бычок-бубырь / Bubyr goby, transcaucasian goby *Pomatoschistus caucasicus* Berg [= *Knipowitschia caucasica* (Berg)]	I+, N
Бычок-песочник / Sand goby *Neogobius fluviatilis pallasi* (Berg)	I+, N
Бычок-цуцик / Tubenose goby *Proterorhinus marmoratus* (Pallas)	I+, N
Бычок-кругляк / Round goby *Neogobius melanostomus affinis* (Eichwald)	I+, N
Бычок-головач / Bighead goby *Neogobius kessleri gorlap* Iljin	I+, N
Бычок-ширман / Syrman goby *Neogobius syrman eurystomus* (Kessler)	I+, N
Pleuronectidae	
Камбала / Black Sea flounder *Platichthys flesus luscus* (Pallas)	I, C

Примечание: A – абориген; I – вселенец; I+ – весен случайно при плановом вселении; C – промысловый; N – непромысловый; R – редкий, RB – в Красной книге; E– вымер.

Note: A – aboriginal; I – introduced; I+ - introduced incidentally at planned introduction; C – commercial; N – not commercial; R – rare, RB – in Red Book; E– extinct.

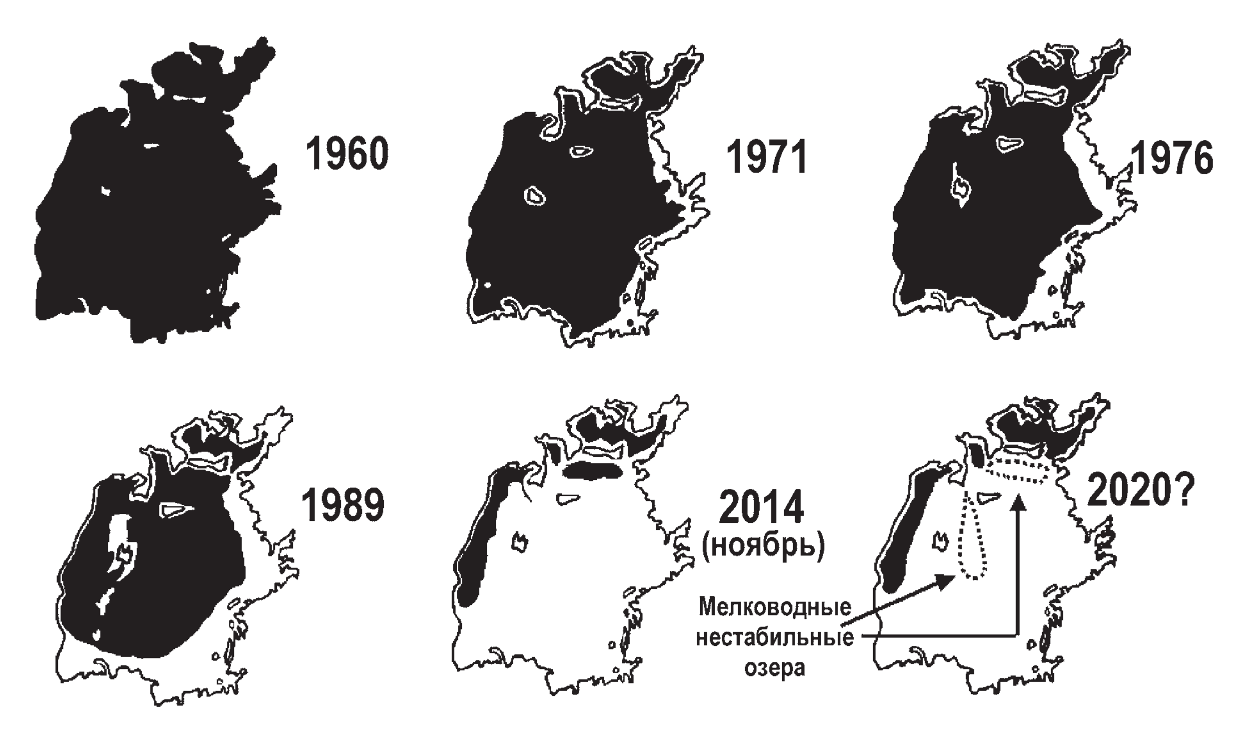


Рис. 4. Изменение очертаний Аральского моря, (1960–2020 гг.).

Fig. 4. The Changing Profile of the Aral Sea (1960–2020).

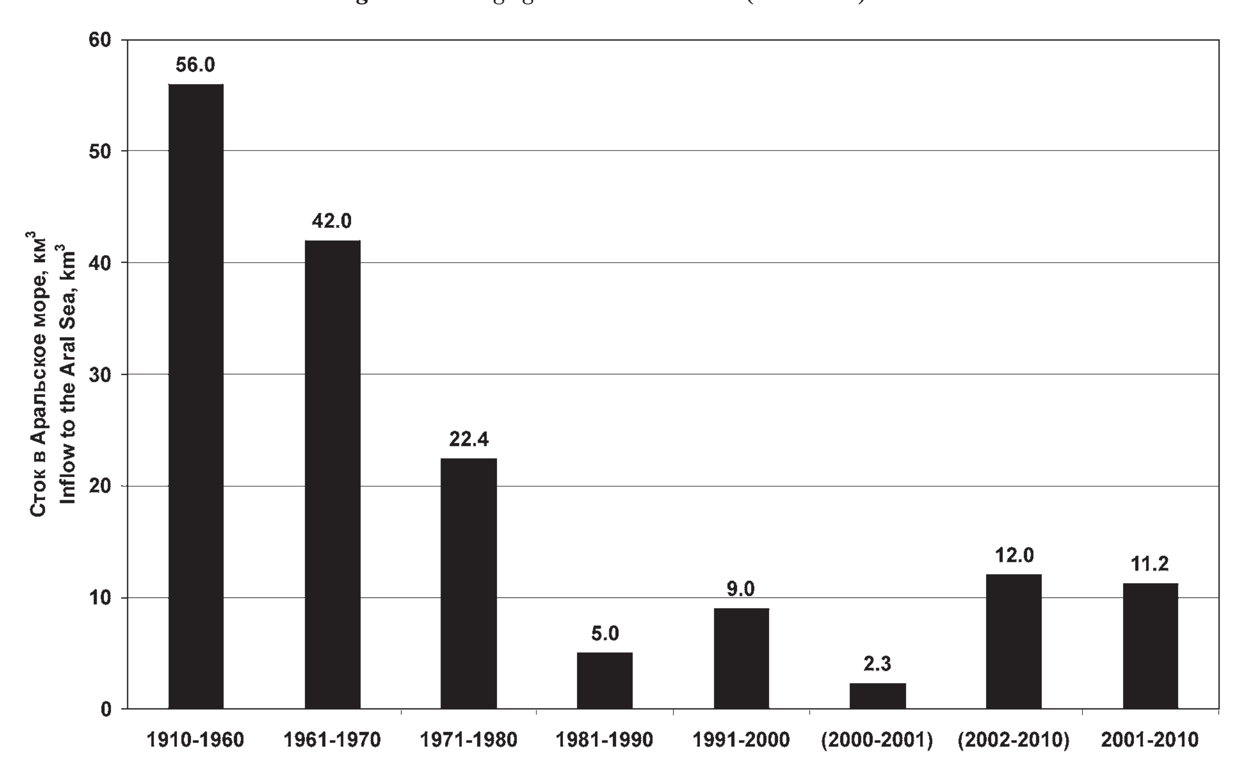


Рис. 5. Сток в Аральское море в 1910–2010 гг.

Fig. 5. Inflow to the Aral Sea 1910–2010.

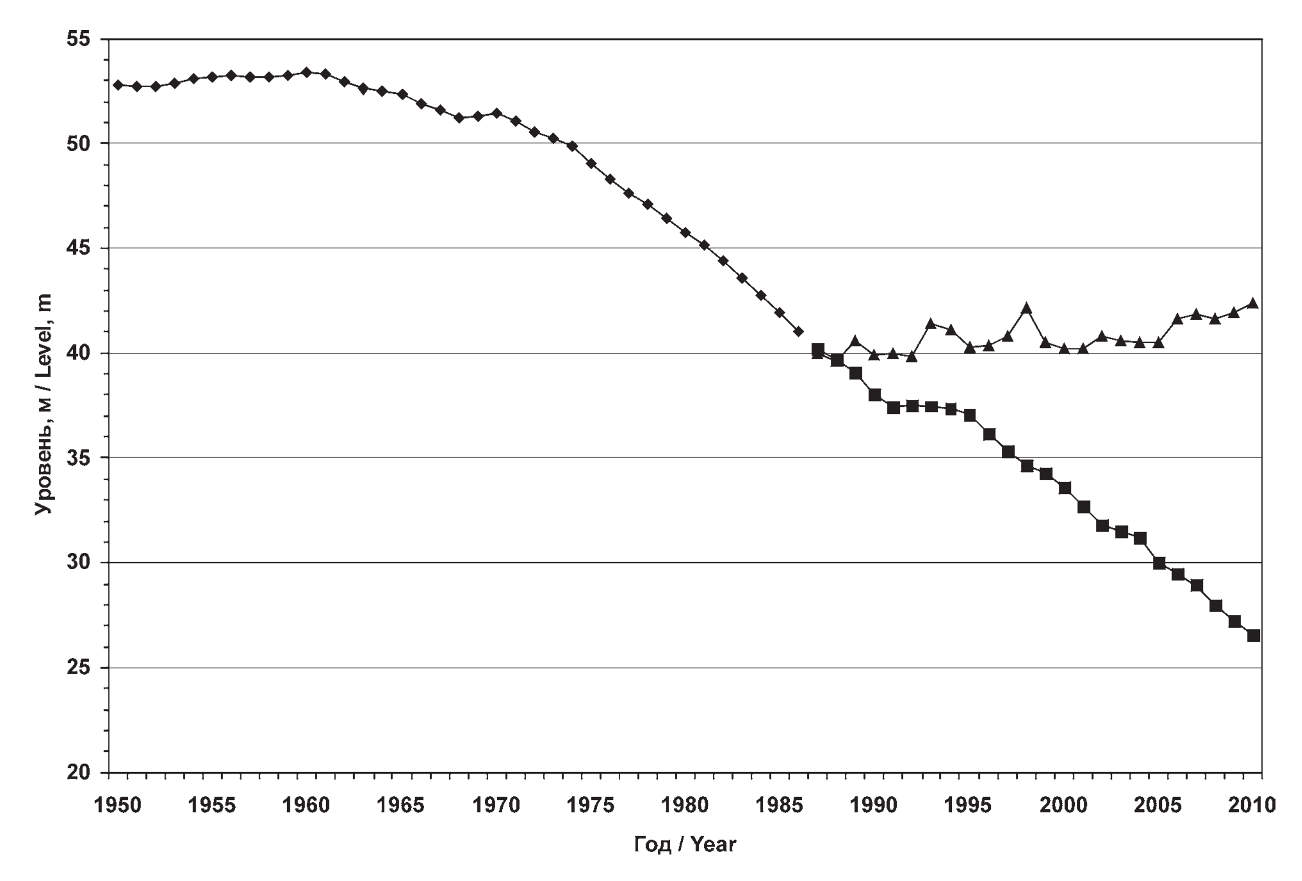


Рис. 6. Изменение уровня Аральского моря (1950–2010 гг.).
Fig. 6. Changing Level of the Aral Sea (1950–2010).

лености черноморскую камбалу *Platichthys flesus luscus* (Pallas) (Ermakhanov et al. 2012), которая стала единственным промысловым видом и обеспечивала значительные некоммерческие уловы на Малом Арале.

В результате падения уровня и пересыхания пролива Берга Арал разделился (1987 г.) на два водоема – «Малое» Аральское море на севере и «Большое» Аральское море на юге. В первый впадает Сырдарья, а во второй – Амударья. Образовался соединяющий эти два озера канал, по которому вода стала стекать из первого во второе (Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 1995b; Micklin 2014c, 2014e). В 1992 г. местные власти построили в проливе Берга земляную дамбу, чтобы блокировать отток воды из Малого моря в целях повышения его уровня и снижения солености, а также улучшения экологических условий и условий для рыболовства (Аладин [Aladin] 2012). Это импровизированное сооружение несколько раз разрушалось, и его ремонтировали. В апреле 1999 г., после подъема уровня Малого Арала выше отметки 43 м (т.е. выше гребня плотины), во время шторма плотина была прорвана и полностью разрушена, при этом погибли 2 человека (Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 2008; Micklin 2014e).

В дальнейшем Всемирный банк и правительство Казахстана профинансировали строительство надежной 13-километровой земляной дамбы с бетонным водосбросным сооружением, регулирующим сток из Малого моря в Большое (Рис. 7). Строительные работы завершились в августе 2005 г., и к марту следующего года уровень Малого Арала поднялся, стабилизировавшись на отметке 42 м над уровнем моря (Micklin 2014e). Были реализованы и проекты на Сырдарье, направленные на увеличение ее стока в море, подачу большего объема воды для обводнения дельты, повышение безопасности и улучшение инфра-



Рис. 7. Кок-Аральская дамба с плотиной, вид с нижнего бьефа (сентябрь 2007 г.) (фото: И. Плотников).
Fig. 7. Kok-Aral Dam and Dike from Lower Side (Sept. 2007) (photo by I. Plotnikov).

структуры находящихся выше по течению большой Чардаринской плотины и водохранилища, а также сокращение аварийных сбросов из него в оз. Арнасай, тем самым увеличивая поступление воды в низовья реки (Micklin 2014e).

Богатым экосистемам дельт Амударьи и Сырдарьи нанесли значительный урон сокращение стока рек, прекращение весенних паводков и ведущее к распространению опустынивания снижение уровня грунтовых вод. Аккумуляция солей на поверхности земли привела к образованию территорий, на которых практически ничего не будет произрастать. Резко сократилась площадь уникальных тугайных лесов вдоль главных и второстепенных водотоков. Высыхание дельт значительно сократило площадь озер, водно-болотных угодий и связанных с ними тростниковых сообществ. Эти изменения привели к резкому падению числа видов млекопитающих и птиц (Reimov and Fayzieva 2014). Сильные ветры сдувают песок, соль и пыль с высохшего дна Аральского моря на окружающие земли, причиняя этим вред естественной растительности, сельскохозяйственным культурам, диким и домашним животным. Когда с высыханием моря обнажилась значительная часть его дна, стали более частыми и интенсивными пыльные бури, захватывающие соли в виде частиц и аэрозолей и охватывающие время от времени более 100000 км^2, простираясь по направлению ветра более чем на 500 км (Micklin 2014a; Reimov and Fayzieva 2014; Indoitu et al. 2015).

Из-за отступания моря изменился климат в полосе шириной до 100 км вдоль бывшей береговой линии на территории Казахстана и Узбекистана. Лето стало теплее, а зима – холоднее, весенние заморозки стали более поздними, а осенние заморозки – более ранними, влажность стала ниже, вегетационный период стал короче (Micklin 2010; Reimov and Fayzieva 2014).

К сентябрю 2009 г. Аральское море, уменьшившееся до небольшого остатка от того, каким оно было в 1960 г., оказалось разделенным на четыре части (Micklin 2010) (Табл. 2; Рис. 8).

Дамба и плотина, построенные для регулирования стока из Малого Арала в Большой Арал, подняли и стабилизировали уровень первого, значительно улучшив экологические условия. Соленость Малого Арала стала снижаться, и постепенно он вновь становится солоноватоводным. К настоящему времени его средняя соленость даже ниже, чем до современной регрессии. Значительное снижение средней солености и наличие обширной сильно опресненной зоны около дельты Сырдарьи сделало возможным обратное вселение в Малое море естественным путем многих

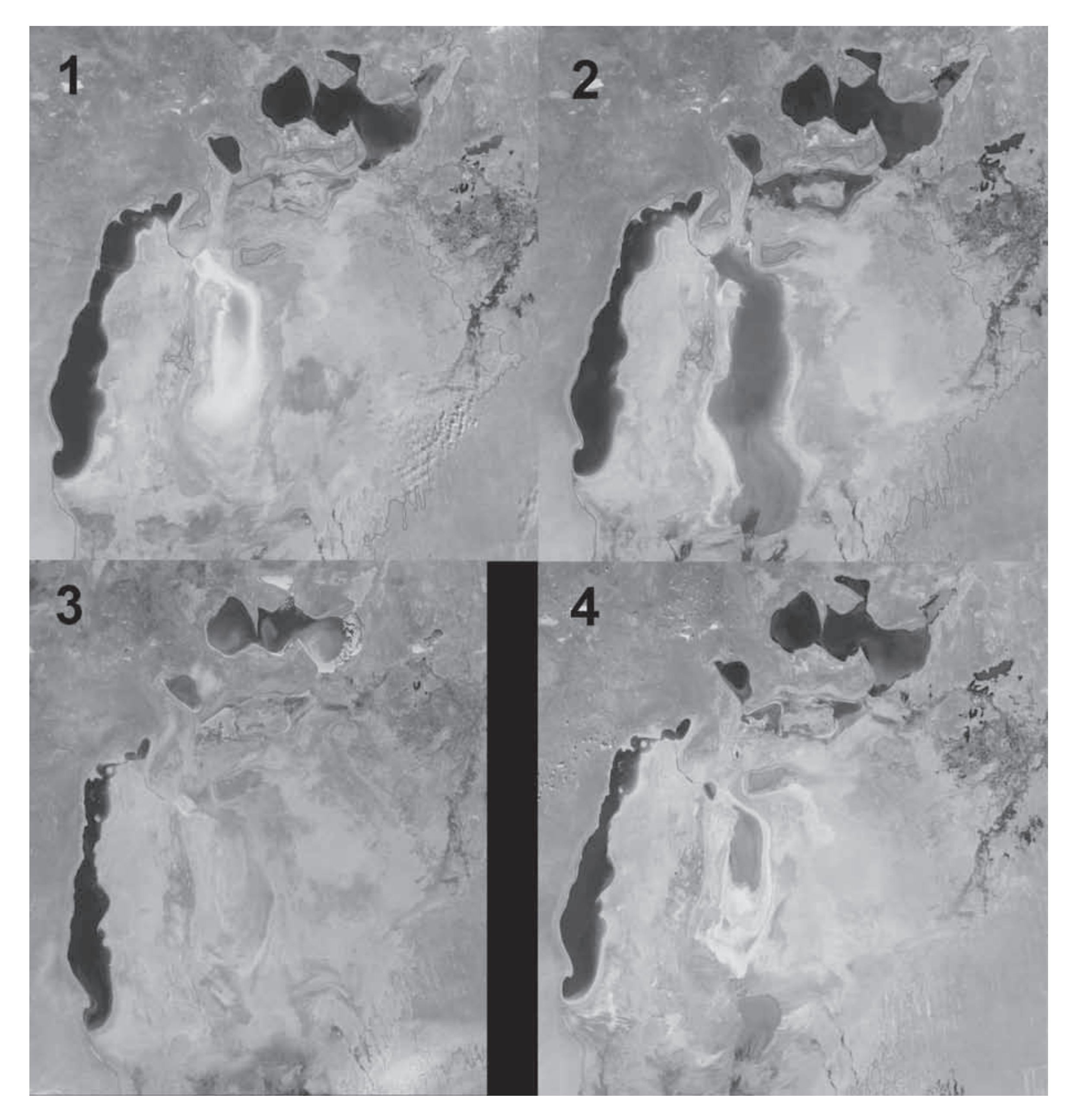


Рис. 8. Аральское море (MODIS 250 m, true color images, bands 1–4–3). 1 – 22.08.2009, 2 – 23.08.2010, 3 – 1.11.2014, 4 – 22.05.2015.
Fig. 8. Aral Sea (MODIS 250 meter, true color images, bands 1–4–3).

видов пресноводных и солоноватоводных беспозвоночных, а также рыб, выпавших из его фауны из-за осолонения. Это – виды, обитающие рефугиумах – Сырдарье и имеющихся в ее низовьях озерах, или же виды беспозвоночных, имеющие латентные яйца, сохраняющие свою жизнеспособность на протяжении длительного времени.

К настоящему времени (Toman et al. 2015; Плотников [Plotnikov] 2016) в Малом Арале вновь появились такие виды пресноводных коловраток, как *Filinia longiseta* (Ehrenberg), *Asplanchna priodonta* Gosse, *Brachionus calyciflorus* Pallas. Растет и биоразнообразие планктонных ракообразных. Вернулись пресноводные и солоноватоводные

ветвистоусые ракообразные – *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Diaphanosoma brachyurum* Lievin, *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine), *Podonevadne camptonyx* (Sars), *P. angusta* (Sars), *Evadne anonyx* Sars; веслоногие ракообразные – *Phyllodiaptomus blanci* (Guerne et Richard), *Cyclops vicinus* Uljanin, *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Megacyclops viridis* (Jurine). Возвращается вселенец – мизида *Paramysis intermedia* (Czerniavsky). Вновь появились и стали важной составляющей донной фауны личинки хирономид. В опресненной зону возвратился двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha aralensis* (Andrusov). С другой стороны, сильное снижение солености становится неблагоприятным для прежде многочисленных представителей морской фауны и галофильных видов, таких как копепода *Halicyclops rotundipes aralensis* Borutzky, моллюски *Cerastoderma isthmicum* и Caspiohydrobia spp.

Стало возможным возвращение и процветание коммерчески ценных аборигенных пресноводных видов, таких как судак *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus), сазан *Cyprinus carpio aralensis* Spitshakow, лещ *Abramis brama orientalis* Berg и вобла *Rutilus rutilus aralensis* Berg, а также ряда других, и это позволило возродить рыболовство на Малом Арале (Ermakhanov et al. 2012). Тем не менее занятость населения в промышленном рыболовстве и переработке рыбы сегодня составляет только небольшую часть от того, что было в прошлом (White 2014).

Расположенному на юге Большому морю не столь повезло. После его отделения рост солености не только продолжился, но и ускорился. Уровень его более глубокого Западного бассейна упал на 26 м, и соленость там превышает 100 г/л. Восточный бассейн тоже пережил подобное падение уровня и стал мелководным водоемом с соленостью, возможно, выше 150 г/л (Табл. 2). Ожидалось, что в течение лета 2010 г. он полностью высохнет. Однако в 2010 г. значительный сток Амударьи вновь наполнил и восстановил этот бассейн, который с этого времени то уменьшался, то увеличивался в сезонном ритме, связанном с годовой динамикой речного стока в сочетании с многолетними циклами чередования влажных и сухих годов (Рис. 4 и 8) (Micklin 2010, 2014e).

Превращение Большого моря в конце 1990-х гг. в гипергалинный водоем привело к новым и очень значительным изменениям в фауне этой части Арала. В результате исчезновения большинства сохранявшихся видов сократилось и так уже низкое видовое разнообразие (Mirabdullayev et al. 2004; Mokievsky and Miljutina 2011; Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 2008; Завьялов и др. [Zavialov et al.] 2006, 2012; Курбаниязов и др. [Kurbaniyazov et al.] 2009; Плотников [Plotnikov] 2016). Исчезли представители морской фауны – планктонные рачки *Calanipeda aquaedulcis* и *Halicyclops rotundipes aralensis* и коловратки *Synchaeta* spp. Из числа гарпактицид остались только наиболее галотолерантные, например, *Cletocamptus retrogressus* Schmankewitsch. В прошлом малочисленные коловратки – *Hexarthra fennica* (Levander) и *Brachionus plicatilis* Müller – сначала становятся сравнительно многочисленными видами, однако при дальнейшем росте солености они исчезают. Стала беднее и донная фауна. Исчезли полихета *Hediste diversicolor* (O.F. Müller) и все моллюски.

При этом естественным путем вселился ряд ранее отсутствовавших видов беспозвоночных, характерных для фауны гипергалинных водоемов. Появились галофильные инфузории *Frontonia marina* Fabre-Domergue и *Fabrea salina* Henneguy, жаброногий рачок *Artemia parthenogenetica* Bowen et Sterling, ставший доминирующим в зоопланктоне, копепода *Apocyclops dengizicus* (Lepeshkin), ракушковый рачок *Eucypris mareotica* (Fischer) и личинки хирономиды *Baeotendipes noctivaga* (Kieffer) (Mirabdullayev et al. 2004, 2007; Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 2008; Завьялов и др. [Zavialov et al.] 2006, 2012; Mokievsky and Miljutina 2011; Жолдасова и др. [Zholdasova et al.] 1999, 2000; Мусаев и др. [Musaev et al.] 2012; Плотников [Plotnikov] 2016).

Из аборигенных видов беспозвоночных в донной фауне Большого Арала сохранились только некоторые фораминиферы, ресничные черви и разнообразные нематоды (Mokievsky 2009; Mokievsky and Miljutina 2011; Аладин и Плотников [Aladin and Plotnikov] 2008; Плотников [Plotnikov] 2016).

На момент разделения Аральского моря ихтиофауна Большого Арала состояла только из ранее вселенных морских видов – нескольких видов бычков, салаки *Clupea harengus membras* (Linnaeus), атерины *Atherina boyeri caspia* (Eichwald) и камбалы. С ростом солености их численность снижалась, и к 2006 г. все они окончательно исчезли (Мусаев и др. [Musaev et al.] 2012).

ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ БУДУЩЕГО АРАЛА

Какое будущее у Аральского моря? Утверждение, что озеро полностью высохнет в XXI веке, не соответствует истине. Даже если сток рек Амударьи и Сырдарьи сократится до нуля (что очень маловероятно), то сохранится остаточное поступление дренажных вод с орошаемых земель, грунтовых, талых и дождевых вод. Это поддержит существование, по меньшей мере, двух больших озер: западной части Малого Аральского моря на севере и западного бассейна Большого моря на юге. Но они будут гиперминерализованными, и их экологическое и экономическое значение будет небольшим, возможно, за исключением заготовки яиц (цист) артемии *Artemia parthenogenetica* (Micklin 2010).

В обозримом будущем возвращение Аральского моря к его состоянию на 1960 г. очень маловероятно. Это потребует восстановить среднегодовой речной сток до 56 км^3 и займет около 103 лет. Восстановление Арала следовало бы логистической кривой: сначала (так как речной сток значительно превышает чистое испарение) быстро, но далее замедлилось, стремясь к нулю, по мере роста чистого испарения и его приближения к объему речного стока. Тем не менее площадь моря достигла бы 60000 км^2 (91% площади в стабильном состоянии) всего за 43 года.

Среднегодовой речной сток в Аральское море в 2001–2010 гг. составлял только 11 км^3 – 20% от необходимого для реализации этого сценария. Единственный реальный способ существенно увеличить его – это сократить потребление воды на орошение, а оно составляет 92% от совокупного изъятия воды (Micklin 2014d). Существенно повысить эффективность орошения возможно, но это дорого, и потребуется много времени. Можно значительно сократить площадь орошаемых земель, но это нанесет большой экономический ущерб, так как ирригация играет важную роль в экономике новых государств Центральной Азии. Повышение эффективности орошения и другие меры по сокращению использования воды в этой отрасли, безусловно, полезны, и к этому нужно стремиться, но это – долгосрочные частные решения проблемы нехватки воды в регионе, а не краткосрочные панацеи (Micklin 2010).

Конечно, технически возможно подать воду в Арал из-за пределов Центральной Азии. В 1960-х и 1970-х гг. разрабатывались планы переброски в бассейн Аральского моря до 60 км^3 воды из сибирских рек Иртыша и Оби для решения в долгосрочной перспективе региональных водных проблем. Начальный этап (27 км^3) уже находился на грани реализации, когда он был остановлен в 1986 г., главным образом по причине его чрезмерно высокой стоимости (Micklin 2014f). Этот грандиозный план продолжают обсуждать и поддерживать в водохозяйственных и правительственных кругах стран Центральной Азии, а также и в России. Тем не менее, как нам представляется, у него мало шансов на осуществление в обозримом будущем. Даже если такой проект и будет реализован, то до Арала дойдет намного меньше воды, чем забранные 27 км^3, и, вероятно, даже меньше чем 15 км^3, из-за ее существенных потерь на испарение и фильтрацию в подводящей системе, попутного отбора на орошение и другие цели и расширения ирригации в Центральной Азии.

С другой стороны, весьма перспективны различные сценарии частичной реабилитации Аральского моря и дельт рек Амударьи и Сырдарьи. Около 2.6 км^3/год в среднем – это всё, что требуется для поддержания современного уровня Малого Арала (около 42 м над ур. м., площадь примерно 3200 км^2). Тем не менее необходимы дополнительные 0.65 км^3, чтобы обеспечить достаточный сток через Кок-Аральскую плотину в проливе Берга для регулирования солености. Таким образом, нужно будет поддерживать общий средний ежегодный речной сток 3.24 км^3 как минимум. Для периода 1992–2011 гг. он оценивается в 5.9 км^3, а минимальный годовой расход – в 3.23 км^3. Таким образом, воды более чем достаточно для поддержания стабилизировавшегося Малого Аральского моря.

После завершения в 2005 г. строительства Кок-Аральской плотины избыток воды сбрасывается в южном направлении, образуя простирающееся на запад и на юг большое озеро, получившее название Центральный Арал. В отдельные годы оно распространяется достаточно далеко на юг, способствуя пополнению Восточного бассейна Большого Аральского моря. Это озеро подходит к бывшему заливу Тщебас и дополняет его водный баланс. Также некоторое количество воды из этого озера поступает по соединительному каналу

в Западный бассейн Большого Арала. Вместе с водой, сбрасываемой из Малого моря, в это озеро выносится значительное количество ценных промысловых рыб.

Центральный Арал – озеро большое и очень мелкое с обширными зарослями тростника (его восточная часть представляет собой, скорее, водно-болотное угодье, чем настоящее озеро), способствующими высокой эвапотранспирации и, таким образом, значительным потерям воды. Кроме того, соленость в его западной части слишком высока (около 70 г/л) для выживания там рыб. И, наконец, площадь озера сильно меняется в течение года: она значительно увеличивается в течение зимы и весны (в период максимального стока Сырдарьи) и быстро сокращается в течение лета и осени (а в отдельные годы озеро даже полностью исчезает). Можно аргументировать, что было бы разумнее существенно сократить сток из Малого моря и использовать сэкономленную воду для дальнейшего повышения его уровня, но это, конечно, уменьшит размер Центрального Арала.

Правительство Казахстана планирует второй этап проекта восстановления Малого Арала. Один из его альтернативных вариантов предполагает поднять уровень воды до 50 м над уровнем моря только в заливе Сарышаганак, простирающемся на северо-восток от восточной части Малого моря. Для этого нужно будет построить в горле залива дамбу и плотину с водопропускным сооружением и судоходным шлюзом (Рис. 9). Часть стока Сырдарьи будет отведена по 44-километровому каналу на север в Сарышаганак для поддержания его уровня. Этот превращенный в водохранилище залив вновь приблизится к г. Аральску, бывшему главному порту на северной оконечности Аральского моря, что позволит рыболовецким судам подходить по короткому каналу непосредственно к новому рыбообрабатывающему заводу в Аральске. Водохранилище будет почти пресноводным (менее 2 г/л после его заполнения и стабилизации солености).

Если ежегодно подавать в водохранилище Сарышаганак 1 км^3 воды, то его заполнение займет около 10 лет (Рис. 10). Увеличение до 1.5 км^3 сократит это время до 6 лет. Забор воды из низовья Сырдарьи по каналу будет больше, чтобы компенсировать транспортировочные потери на испарение, транспирацию и фильтрацию. Предположительно такие потери составят, как минимум, 15% от исходного объема: это означает, что потребуется 1.15 км^3 для сценария 1 км^3 и 1.725 км^3 для сценария 1.5 км^3. В конце фазы заполнения по первому сценарию ежегодно в среднем 0.55 км^3 может сбрасываться в основную часть Малого Арала (Северное Аральское Море, сокращенно – САМ) и 1.05 км^3 – по второму сценарию. Как показано выше, потребуется только 3.24 км^3 для поддержания уровня основной части САМ на отметке 42 м и обеспечения стока через Кок-Аральскую плотину, достаточного для поддержания солености на солоноватоводном уровне (6–8 г/л), подходящем для аборигенных рыб. Так как общий среднегодовой сток в основную часть САМ (по данным за 1992–2011 гг.) по-прежнему превышает 5 км^3, то будет избыток воды и для поддержания уровня, и для ее сброса, необходимого для поддержания стабильной солености. Сток из САМ через плотину в проливе Берга будет достаточным и для поддержания имеющего немалые размеры Центрального Арала.

Если данный проект будет реализован, то в этом практически пресноводном водохранилище Сарышаганак за счет выноса в него пресноводных гидробионтов со стоком Сырдарьи, а также заноса их покоящихся стадий водоплавающими птицами или ветром с пресных или солоноватых водоемов Приаралья сформируется фауна пресноводного типа. Вагильные виды донных беспозвоночных – мизиды и бокоплав *Dikerogammarus aralensis* (Uljanin) – могут непосредственно сами мигрировать из низовий Сырдарьи, где они обитают, в Сарышаганак и расселяться по нему. Вселение тех донных беспозвоночных, которые сами неспособны к миграции, возможно при наличии у них планктонных личинок. К ним, например, принадлежит двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha aralensis*. При этом обитающие в нем в настоящее время морские (в их числе коловратки *Synchaeta* spp., полихета *Hediste diversicolor*, моллюски *Syndosmya segmentum* Récluz и *Cerastoderma isthmicum*, креветка *Palaemon elegans* Rathke, солоноватоводные (ветвистоусые рачки из семейства Podonidae) беспозвоночные и выходцы из осолоненных водоемов аридной зоны (моллюски *Caspihydrobia* spp.) в итоге должны будут исчезнуть из-за очень низкой солености (Плотников [Plotnikov] 2016). Низкая соленость будет благоприятна для являющихся пресноводными аборигенных промысловых рыб, т.к. многие из

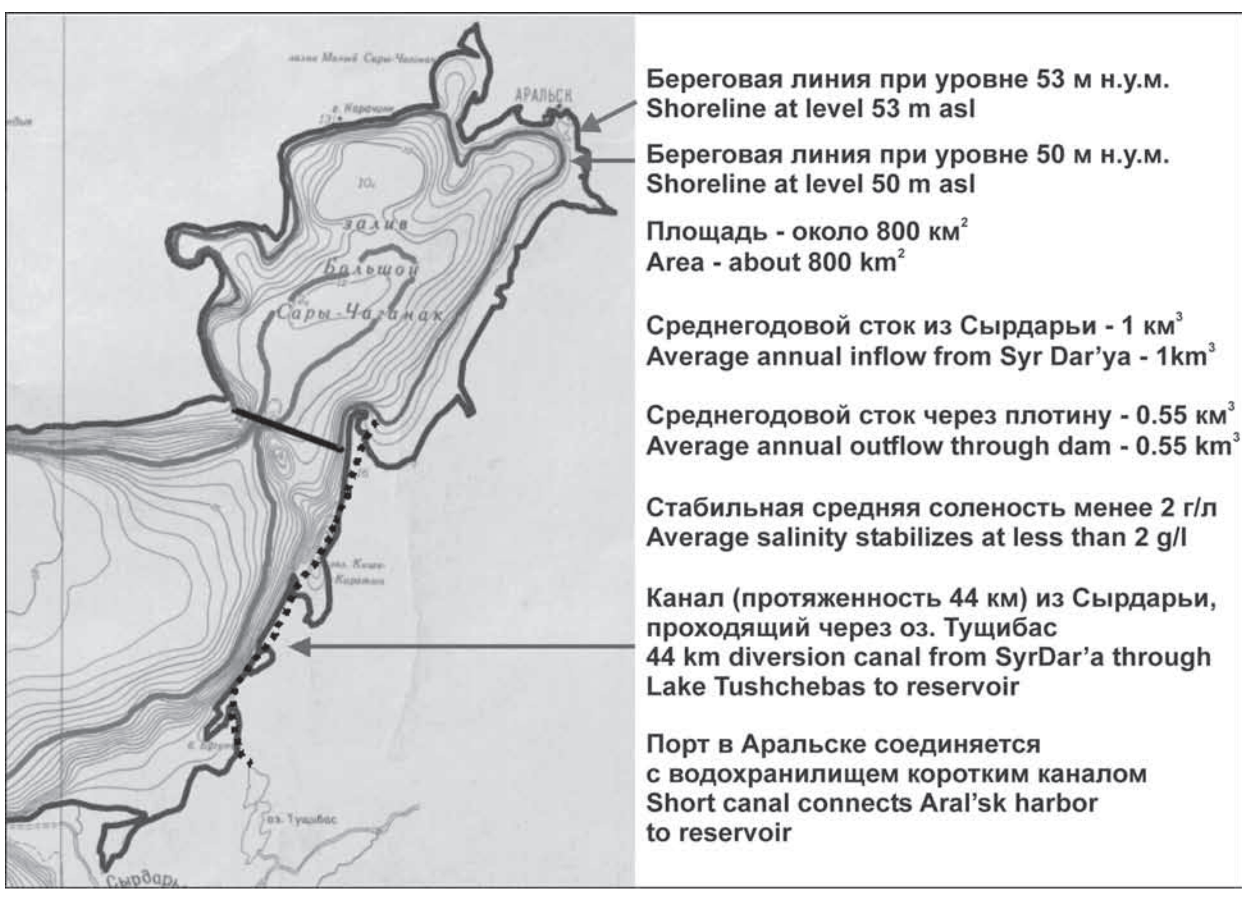


Рис. 9. План создания водохранилища Сарышаганак.
Fig. 9. Saryshaganak Reservoir Plan.

них смогут нереститься непосредственно в этом водохранилище, а не обязательно мигрировать для размножения в Сырдарью и связанные с ее нижним течением озера.

Другой альтернативой может стать реконструкция Кок-Аральской плотины, чтобы повысить уровень всего Малого Арала до отметки 48 м (Рис. 11). Это, скорее всего, даст больше экономических и экологических выгод, чем создание водохранилища Сарышаганак, но при этом потребуется больший объем минимального стока Сырдарьи. Ее среднегодовой сток, необходимый для поддержания уровня на отметке 48 м, оценивается в 3.96 км^3. Тем не менее вызывает беспокойство то, что наполнение всего Малого Арал до этой отметки займет слишком много времени. Модель аннуилизированного физического водного баланса показывает, что до отметки 48 м озеро можно наполнить за 17 лет при среднегодовом речном стоке 5.0 км^3. Первоначально наполнение пойдет быстро, постепенно затем замедляясь (Рис. 12). После достижения проектного отметки сброс из Малого моря в среднем около 1 км^3/год будет поддерживать его относительно стабильный уровень. Это – сценарий для среднего значения годового притока речной воды. Очевидно, что фактический годовой приток меняется из года в год, иногда значительно, но эти его изменения можно будет корректировать тщательным контролем сброса (большего в годы с большим речным стоком и меньшего, даже нулевого, в маловодные годы с небольшим речным стоком). При притоке 5.5 км^3 время наполнения сократится до 12–13 лет, после чего сброс в среднем около 1.5 км^3/год будет поддерживать уровень на отметке 48 м. Учитывая, что примерный среднегодовой речной сток за 1992–2011 гг. составляет 5.9 км^3, представляется обоснованным, что потребуется и меньший срок.

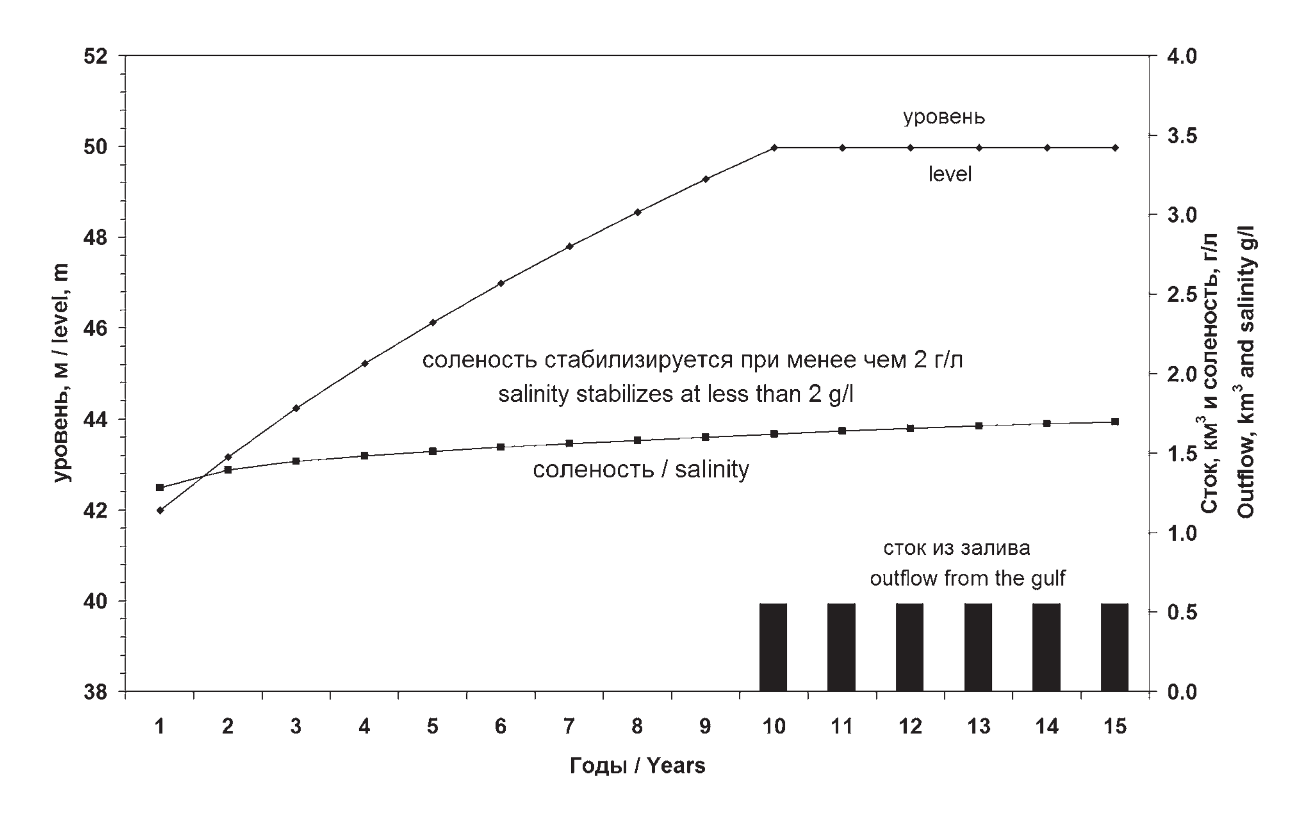


Рис. 10. Изменение уровня и солености водохранилища Сарышаганак.

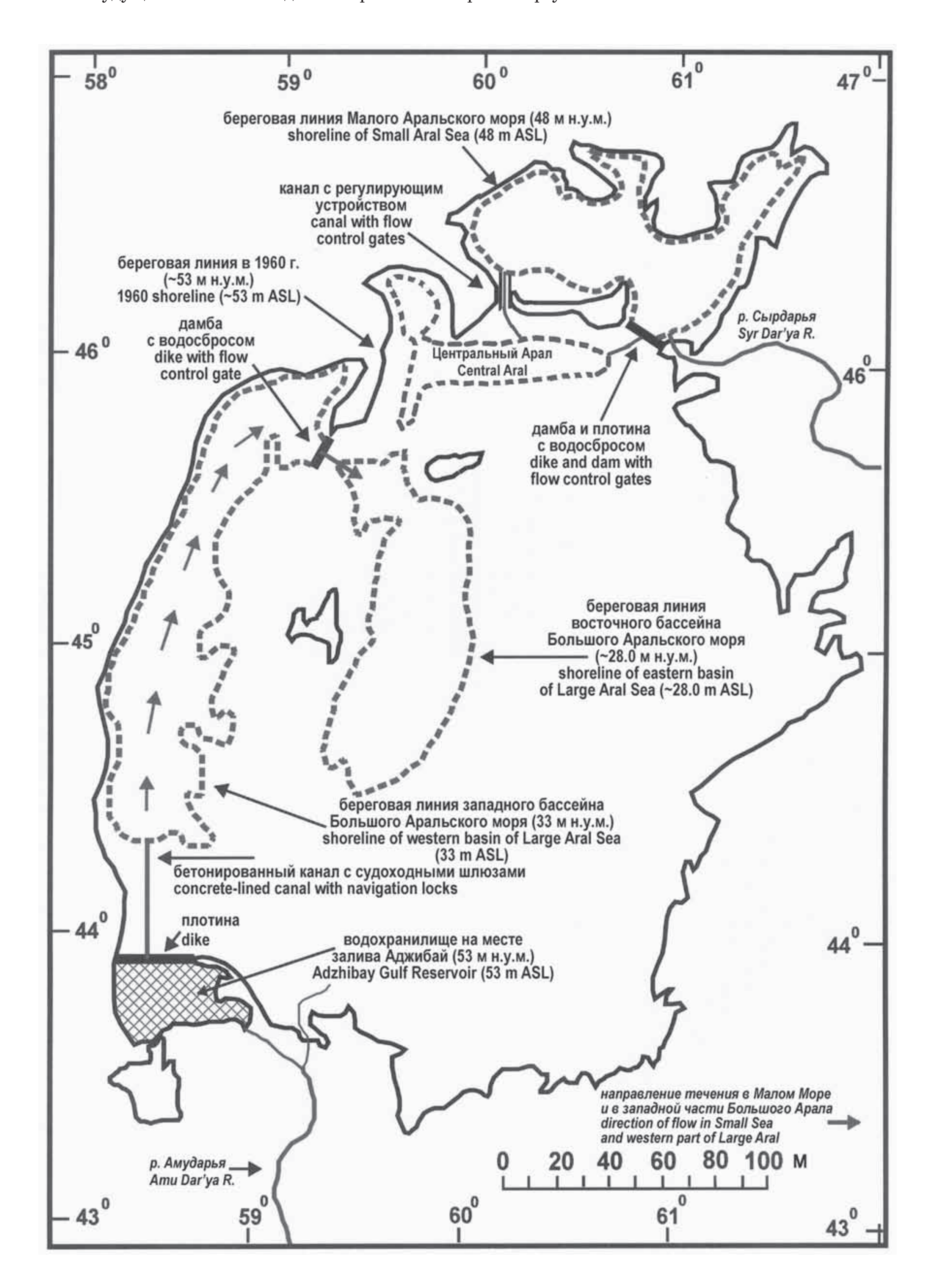
Fig. 10. Level and Salinity changes for Saryshaganak Reservoir.

И даже возможен больший приток, особенно принимая во внимание гидрологическую мелиорацию в среднем и нижнем течении Сырдарьи, как уже проведенную для увеличения достигающего САМ речного стока, так и намеченную на ближайшее будущее.

Тем не менее не все обстоит так хорошо. Из-за изменения климата в виде антропогенного глобального потепления сокращаются ледники и снежники в горах Тянь-Шаня, служащие главным источником воды для Сырдарьи. (То же самое верно и для Амударьи, питаемой главным образом ледниками и снежниками на Памире.) Со временем их ускорившееся таяние увеличит речной сток, но в итоге масса льда и снега станет настолько малой, что сток с них начнет снижаться

Рис. 11. Оптимистический сценарий будущего Аральского моря (после 2030 г.). *Малое Аральское море*: уровень 48 м, площадь 4830 км^2, объем 53.5 км^3, среднегодовой речной сток 5.0 км^3, среднегодовой сток из Малого моря 1.0 км^3, среднегодовая соленость 6 г/л; *западный бассейн Большого Аральского моря*: уровень 33 м, площадь 6200 км^2, объем 85 км^3, среднегодовой речной сток 6.4 км^3, среднегодовой приток грунтовых вод 2.0 км^3, среднегодовой сток в восточный бассейн 3.6 км^3, соленость, снижаясь, достигает 42 г/л к 2055 г. и 15 г/л к 2110 г.; *восточный бассейн Большого Аральского моря*: уровень ~28.0 м, площадь ~3800 км^2, объем ~7.6 км^3, приток из западного бассейна Большого Арала 3.6 км^3, приток их Центрального Арала сильно изменчив, среднегодовая соленость >200 г/л.; *водохранилище на месте залива Аджибай*: уровень 53 м, площадь 1147 км^2, объем 6.43 км^3, приток 8 км^3, сток в Западный бассейн Большого Аральского моря 6.6 км^3, среднегодовая соленость 2г/л.

Fig. 11. Optimistic Scenario of the Future Aral Sea (after 2030). *Small Aral Sea*: level 48 m, surface area 4830 km^2, volume 53.5 km^3, avg. annual river inflow 5.0 km^3, avg. annual outflow 1.0 km^3, avg. annual salinity 6 g/l; *Western Basin of Large Aral Sea*: level 33 m, surface area 6200 km^2, volume 85 km^3, avg. annual river inflow 6.4 km^3, avg. annual net groundwater influx 2.0 km^3, avg. annual outflow to the Eastern Basin 3.6 km^3, salinity steadily decreasing reaching 42 g/l by 2055 and 15 g/l by 2110; *Eastern Basin of Large Aral Sea*: level ~28.0 m, surface area ~3800 km^2, volume ~7.6 km^3, inflow from Western Basin of Large Aral 3.6 km^3, inflow from Central Aral highly variable, avg. annual salinity >200 g/l; *Adzhibay Gulf Reservoir*: level 53 m, surface area 1147 km^2, volume 6.43 km^3, inflow 8 km^3, outflow to Western Basin of Large Aral Sea 6.6 km^3, avg. annual salinity 2g/l.



58⁰
59⁰
60⁰
61⁰
47⁰
береговая линия Малого Аральского моря (48 м н.у.м.)
shoreline of Small Aral Sea (48 m ASL)
канал с регулирующим устройством
canal with flow control gates
береговая линия в 1960 г. (~53 м н.у.м.)
1960 shoreline (~53 m ASL)
дамба с водосбросом
dike with flow control gate
р. Сырдарья
Syr Dar'ya R.
Центральный Арал
Central Aral
46⁰
дамба и плотина с водосбросом
dike and dam with flow control gates
береговая линия восточного бассейна Большого Аральского моря (~28.0 м н.у.м.)
shoreline of eastern basin of Large Aral Sea (~28.0 m ASL)
45⁰
береговая линия западного бассейна Большого Аральского моря (33 м н.у.м.)
shoreline of western basin of Large Aral Sea (33 m ASL)
бетонированный канал с судоходными шлюзами
concrete-lined canal with navigation locks
44⁰
плотина
dike
водохранилище на месте залива Аджибай (53 м н.у.м.)
Adzhibay Gulf Reservoir (53 m ASL)
направление течения в Малом Море и в западной части Большого Арала
direction of flow in Small Sea and western part of Large Aral
р. Амударья
Amu Dar'ya R.
0 20 40 60 80 100 м
43⁰
59⁰
60⁰
61⁰
43⁰

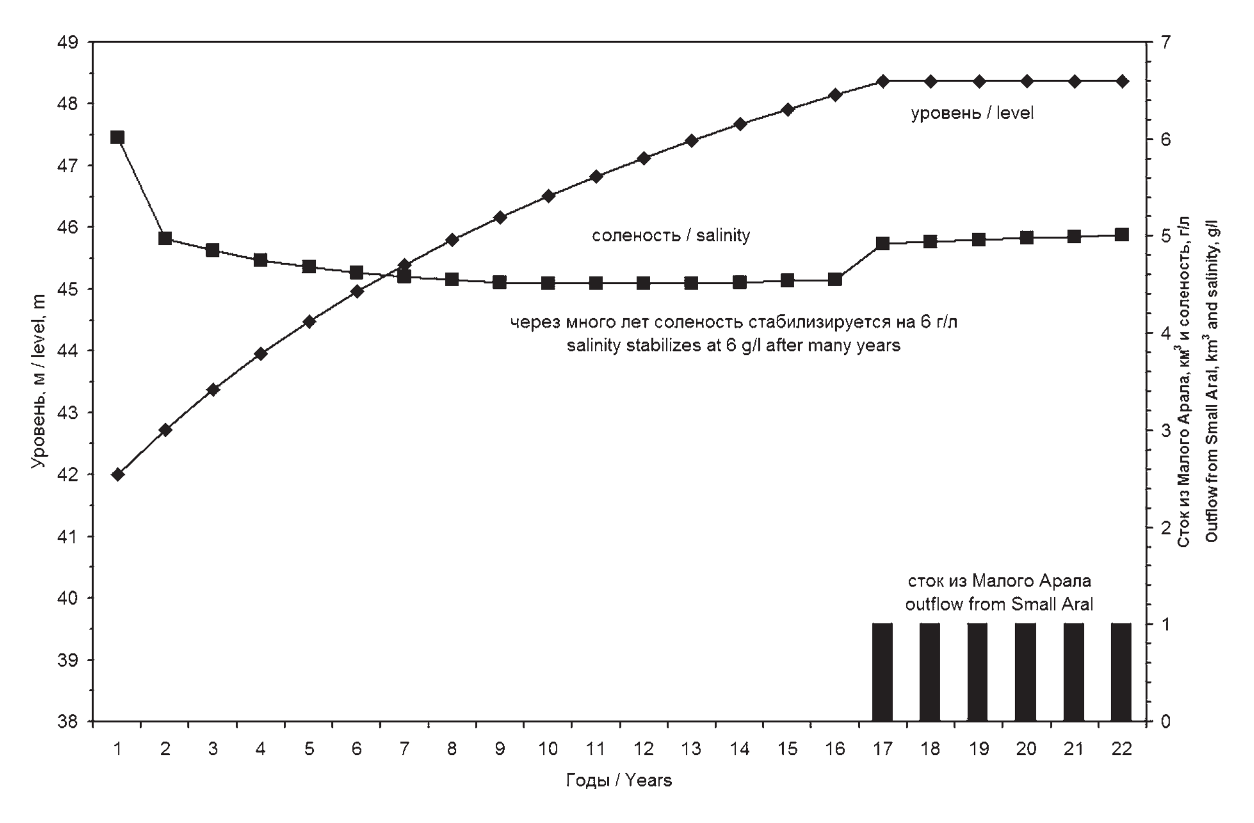


Рис. 12. Время заполнения и изменение солености Малого Аральского моря по сценарию с уровнем ниже 48 м и среднем притоке 5 км^3.

Fig. 12. Fill Time and Salinity Changes for the Small Aral Sea under 48 m and 5 km^3. Average Inflow Scenario.

(Lioubimtseva 2014). Следовательно, предположения, основанные на данных по стоку Сырдарьи за 1992–2011 гг., могут оказаться слишком оптимистичными.

На рис. 11 изображены средние изменения солености САМ во время и после заполнения по сценарию со среднегодовым притоком 5 км^3. Если предположить начальную соленость 6 г/л, то она снизится до 4.56 г/л за 17 лет при заполнении водохранилища относительно пресной водой. Затем начнется ее сброс, и соленость, постоянно замедляясь, станет расти, так как в водоем фиксированного объема поступает соли больше, чем выводится со стоком через плотину в проливе Берга. Соленость достигнет 5 г/л на 25-й год, и в течение длительного периода стабилизируется на 6 г/л. Для связи Аральска с заливом Сарышаганак будет нужен несколько более длинный канал, чем в первом варианте, но это не создаст каких-либо серьезных проблем.

Если реализовать этот альтернативный проект, то все Малое море останется солоноватоводным с опресненной зоной перед дельтой Сырдарьи. С одной стороны, соленость 5–6 г/л будет благоприятна для существования множества пресноводных видов беспозвоночных, но она негативно скажется (вплоть до возможного исчезновения) на таких морских беспозвоночных, как фораминиферы, некоторые ресничные черви, коловратки *Synchaeta* spp., циклоп *Halicyclops rotundipes aralensis*, моллюски *Cerastoderma isthmicum*, *Syndosmya segmentum*, креветка *Palaemon elegans*, и выходцах из осолоненных водоемов аридной зоны – *Caspiohydrobia* spp., а также и на солоноватоводных видах – ветвистоусые рачки *Podonevadne camptonyx*, *P. angusta* и *Evadne anonyx* (Плотников [Plotnikov] 2016). Соленость 5–6 г/л будет благоприятной для аборигенных промысловых рыб Малого Арала. Тем из них, для которых миграция для размножения в реки не

является обязательной, смогут нереститься непосредственно в море.

Решение, какой из альтернативных вариантов будет реализован, пока отложено на неопределенный срок, и правительство Казахстана осуществляет только дальнейшие мелиоративные работы на Сырдарье для увеличения стока в Малый Арал, уменьшения наводнений в нижнем течении реки, снабжения водой некоторых дельтовых озер, а также расширения орошения.

Будущее Большого (южного) моря более проблематично. Восточный бассейн, зависящий от притока сбрасываемой через плотину в проливе Берга воды и стока из Амударьи, представляет собой или очень обширное мелководное озеро, или сухой солончак, способствующий солевым/пыльным бурям, возникающим на обсохшем дне Аральского моря (Рис. 13). Это озеро, когда в нем есть вода, имеет высокую соленость, и его экологическая или экономическую ценность невелика (за исключением потенциальной возможности заготовки яиц артемии). Западный бассейн сильно зависит от притока грунтовых вод, непосредственного стока дождевых и талых вод и некоторого стока из Центрального Арала, когда он достаточно наполнен сбрасываемой из Малого Арала водой. Его уровень 8 августа 2015 г. находился между отметками 24 и 25 м, а его площадь составляла около 3000 км^2 (Рис. 13). Если сохранятся нынешние тенденции, то в течение некоторого времени уровень Западного бассейна продолжит падать, его площадь – сокращаться, и, возможно, наступит стабилизация около отметки 21 м при площади 2560 км^2 (предполагаемое испарение – 1100 мм, осадки – 111 мм, чистый приток подземных вод – 2 км^3/год, поверхностный сток – 0.53 км^3/год). Вероятно продолжение этого процесса в направлении гиперсалинизации с неуклонным приближением к условиям, характерным для Большого Соленого озера в США, Мертвого моря на Ближнем Востоке и озера Урмия в Иране (соленость более 300 г/л) (Micklin 2014e).

Если рост солености Западного бассейна Большого Арала не остановится, то его и так уже низкое биоразнообразие будет сокращаться. Первыми исчезнут коловратки *Brachionus plicatilis* и *Hexarthra fennica*, ракушковый рачок *Cyprideis torosa*, затем – инфузория *Frontonia marina* и циклоп *Apocyclops dengizicus*. В дальнейшем выпадут из фауны гарпактициды *Cletocamptus retrogressus*, инфузория *Fabrea salina*, личинки хирономиды *Baeotendipes noctivaga* и остракода *Eucypris Eucypris mareotica*. Исчезнут и представители остальных групп беспозвоночных. В результате может остаться только *Artemia parthenogenetica*, но и этот рачок исчезнет, когда соленость приблизится к 350г/л (Плотников [Plotnikov] 2016).

Фауна свободноживущих беспозвоночных Восточного бассейна Большого Арала, представленная до его высыхания (вероятнее всего, только *Artemia*) сможет восстановиться и после ее гибели, если в очередной раз этот остаточный водоем получит воду из Амударьи. Источником для восстановления популяции артемии станут цисты, оставшиеся на обсохшем его дне или же заносимые ветром с других гипергалинных водоемов (Плотников [Plotnikov] 2016).

Но для Западного бассейна Большого Арала есть и более оптимистичные сценарии. На Рис. 11 показана концепция, разработанная на основе более ранней работы 1970-х гг. двух советских экспертов (Львович и Цигельная [Lvovich and Tsigelnaya] 1978). Это потребовало бы среднегодового стока в низовье Амударьи в размере около 12.5 км^3, но за 1990–2011 гг. он оценивается как около 5.4 км^3/год. Следовательно, потребуется чуть больше, чем его удвоение, чего можно достичь за счет реально осуществимого повышения эффективности орошения в бассейне р. Амударьи. Эта альтернатива, скорее всего, будет стоить больше, чем на первый этап восстановления Малого Арала. Наибольшие препятствия на пути осуществления этого плана – политические и экономические. Это связано с тем, что усложнятся разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений на некоторых участках обсохшего дна южной части Западного бассейна Аральского моря.

Реабилитация и сохранение низовьев дельты Амударьи стали приоритетом с конца 1980-х гг. Это осуществляется путем создания искусственных водоемов и водно-болотных угодий и реабилитации бывших озер и болот в дельте и на обсохшем дне Аральского моря. Преимуществом является повышение биоразнообразия, улучшение условий для рыболовства, увеличение кормопроизводства, очистка сточных вод водной растительностью и некоторое снижение выноса соли и пыли с обсохшего дна моря. Дополнительной мерой служит фитомелиорация с помощью солеустойчивых кустарников, трав и деревьев участков

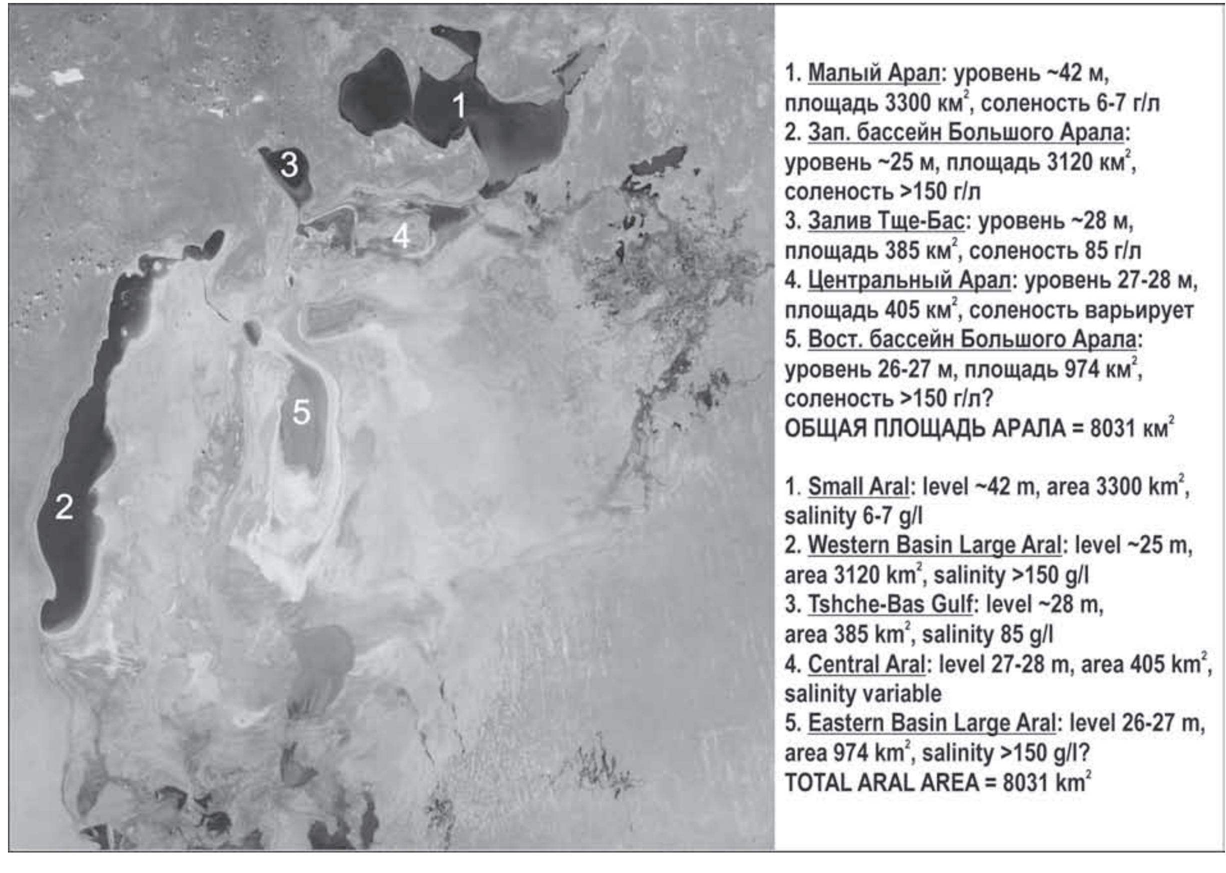


Рис. 13. MODIS снимок Аральского моря (22.05.2015).
Fig. 13. MODIS Image of the Aral Sea (22.05.2015).

осушенного дна для их стабилизации и снижения дефляционного потенциала. Также делаются попытки улучшить состояние водно-болотных угодий и озер (например, Карашалан, Камыслыбас и Тущибас) в низовьях Сырдарьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное высыхание Аральского моря еще раз показывает, что природную среду можно легко и быстро разрушить действиями человека, но ее восстановление, если оно возможно, – длительный и трудный процесс. Следовательно, человечество должно быть очень осторожным с масштабным вмешательством в сложные природные системы. Важно тщательно оценивать потенциальные последствия предлагаемых мер, прежде чем, надеясь на лучшее, поступать так, как Советский Союз поступил с Аральским морем.

Даже если конкретная человеческая деятельность и не привела к серьезным проблемам в прошлом, это не является гарантией, что она не создаст проблем в будущем. Широкое распространение орошения в бассейне Аральского моря серьезно не влияло на море до 1960-х гг., потому что большие объемы отбора воды возмещались компенсирующими факторами, однако они были полностью использованы или подавлены.

Следует остерегаться привлекательных, но легковесных решений сложных экологических и человеческих проблем. Ситуация с Аралом развивается уже в течение более чем 50 лет, и ее не исправить за ночь. Предлагаемые (чтобы сберечь воду и помочь морю) «быстрые решения» вполне могут создать проблемы более серьезные, чем те, которые мы пытаемся решить. Устойчивые решения потребуют в долгосрочной перспективе не только крупных инвестиций и технических инно-

ваций для повышения эффективности использования воды на орошение, но также фундаментальных политических, социальных и экономических изменений, на что нужно время.

Но не все настолько мрачно. Природная среда удивительно устойчива. Следовательно, не надо терять надежду и оставлять усилия по ее сохранению, даже когда задача выглядит пугающе. Многие сбросили Арал со счетов как безнадежный, но сейчас однозначно показано, что значительные его части можно сохранить и восстановить. Более того, хотя в обозримом будущем это и нереально, в отдаленной перспективе даже станет возможным в достаточной степени сократить потребление воды, чтобы обеспечить необходимый для возвращения моря к состоянию, в каком оно находилось более чем полвека назад, объем речного стока. Как доказывают археологические и седиментологические свидетельства, Арал в прошлом высыхал столь же сильно, как сейчас, и восстанавливался.

Сохранение биологических рефугиумов является ключом к сохранению видов, которым угрожает исчезновение. Если альтернативное местообитание сохраняется, то когда условия обитания в исходном месте становятся благоприятными, эти виды могут возвратиться самостоятельно, или же могут быть обратно вселены людьми. Именно это и произошло на Малом Аральском море.

Крупномасштабные проекты восстановления окружающей среды, такие как проект восстановления Малого Аральского моря, требуют тщательного мониторинга. Это необходимо не только для того, чтобы убедиться в том, что они работают, как ожидалось, и для обеспечения обратной связи, но и для того, чтобы выучить новые уроки, что поможет сделать более успешными подобные мероприятия где-нибудь в другом месте.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данные исследования частично выполнены (Н.В. Аладин и И.С. Плотников) в рамках НИР № 01201351188.

ЛИТЕРАТУРА

Aladin N.V. 2012. The dam or weir lives long into the life. Part one. Prologue or first five years (1988–1992). *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*, **3**(21): 206–216. [In Russian].

Aladin N.V. and Plotnikov I.S. 1995a. Changes in the Aral Sea level: palaeolimnological and archaeological evidences. *Proceedings of Zoological Institute RAS*, **262**: 17–46. [In Russian].

Aladin N.V. and Plotnikov I.S. 1995b. On the problem of possible conservation and rehabilitation of the Small Aral Sea. *Proceedings of Zoological Institute RAS*, **262**: 3–16. [In Russian].

Aladin N.V. and Plotnikov I.S. 2008. Modern fauna of residual water bodies formed on the place of the former Aral Sea. *Proceedings of Zoological Institute RAS*, **312**(1/2): 145–154. [In Russian].

Bortnik V.N. and Chistyaeva S.P. (Eds.) 1990. The Aral Sea. Hydrometeorology and hydrochemistry of the Seas of the USSR, 7. Gidrometeoizdat, Leningrad, 196 p. [In Russian].

Ermakhanov Z.K., Plotnikov I.S., Aladin N.V. and Micklin P. 2012. Changes in the Aral Sea ichthyofauna and fishery during the period of ecological crisis. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **17**: 3–9.

Indoitu R., Kozhoridze G., Batyrbaeva M., Vitkovskaya I., Orlovsky N., Blumberg D. and Orlovsky L. 2015. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research*, **17**: 101–115.

Karpevich A.F. 1975. Theory and practice of aquatic organisms acclimatization. Pischevaya pronyshlennost, Moscow, 432, p. [in Russian].

Krivinogov S. 2014. Chapter 4. Changes of the Aral Sea level. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 77–111.

Kurbaniyazov A.K., Bainazarov K.K., and Izbasarov B Zh. 2009. The results of observations of hydrochemical and hydrobiological state of the Aral Sea (2002–2006). *Vestnik Aktyubinskogo universiteta Dunie*, **1**(14): 92–96. [In Russian].

Lioubimtseva E. 2014. Chapter 17. Impact of Climate Change on the Aral Sea and Its Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 405–427.

Lvovich M.I. and Tsigelnaya I.D. 1978. Managing the water balance of the Aral Sea. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, seriya geograficheskaya*, **1**: 42–58. [In Russian].

Micklin P. 2010. The past, present, and future Aral Sea. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **15**: 193–213.

Micklin P. 2014a. Chapter 1. Introduction. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 1–11.

Micklin P. 2014b. Chapter 2. Introduction to the Aral Sea and Its Region. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 15–40.

Micklin P. 2014c. Chapter 5. Aral Sea Basin Water Resources and the Changing Aral Water Balance. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 111–137.

Micklin P. 2014d. Chapter 8. Irrigation in the Aral Sea Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 207–233.

Micklin P. 2014e. Chapter 15. Efforts to Revive the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 361–405.

Micklin P. 2014f. Chapter 16. The Siberian Water Transfer Schemes. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 381–404.

Micklin P. and Aladin N.V. 2008. Reclaiming the Aral Sea. *Scientific American*, April: 64–71.

Mirabdullayev I., Abdullaeva L., Musaev A., Zholdasova I., Mustafaeva Z. and Jumaniezova N. 2007. Sharp fluctuations in ecosystem parameters of the East Big Aral. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-00722, European Geosciences Union.

Mirabdullayev I.M., Joldasova I.M., Mustafaeva Z.A., Kazakhbaev S., Lyubimova S.A. and Tashmukhamedov B.A. 2004. Succession of the ecosystems of the Aral Sea during its transition from oligohaline to polyhaline water body. *Journal of Marine Systems*, **47**(1): 101–107.

Mokievsky V.O. 2009. Quantitative distribution of the meiobenthos in the Large Aral Sea in 2003 and 2004. *Journal of Marine Systems*, **76**: 336–342.

Mokievsky V.O. and Miljutina M.A. 2011. Nematodes in meiofauna of the Large Aral Sea during the desiccation phase: taxonomic composition and redescription of common species. *Russian Journal of Nematology*, **19**(1): 31–43.

Mordukhai-Boltovskoi F.D. (Ed.) 1974. Atlas of the Aral Sea invertebrates. Pischevaya Promyshlennost, Moscow, 272 p. [In Russian].

Musaev A.K., Zholdasova I.M., Mirabdullaev I.M. and Temirbekov R.O. 2012. Resource Development of the Aral Sea Artemia. Proceedings of the International Scientific Conference “Fauna of Kazakhstan and adjacent territories”, dedicated to the 80th anniversary of the Institute of Zoology of the Republic of Kazakhstan. November 22–23, 2012. Almaty: 144–146. [In Russian].

Plotnikov I.S. 2016. Long-term changes of the free-living aquatic invertebrate fauna of the Aral Sea. ZIN RAS, St.-Petersburg, 168 p. [In Russian].

Plotnikov I.S. and Aladin N.V. 2014. Chapter 14. The Biological Future of the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 355–359.

Plotnikov I.S., Aladin N.V., Ermakhanov Z.K., and Zhakova LV. 2014a. Chapter 3. Biological Dynamics of the Aral Sea before Its Modern Decline (1900–1960). In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 41–47.

Plotnikov I.S., Aladin N.V., Ermakhanov Z.K., and Zhakova LV. 2014b. Chapter 6. The New Aquatic Biology of the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 137–171.

Reimov P. and Fayzieva D. 2014. Chapter 7. The Present State of the South Aral Sea Area. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 171–204.

Toman M.J., Plotnikov I., Aladin N., Micklin P. and Ermakhanov Z. 2015. Biodiversity, the present ecological state of the Aral Sea and its impact on future development. *Acta Biologica Slovenica*, **58**(1): 45–59.

White K.D. 2014. Chapter 12. Nature and Economy in the Aral Sea Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake. Springer, Heidelberg: 301–335.

Zavialov P. 2010. Physical oceanography of the large Aral Sea. In: Kostianoy A.G. and Kosarev A.N. (Eds). The Aral sea environment, Vol. 7, The handbook of environmental chemistry. Springer, Berlin/Heidelberg: 123–147.

Zavialov P.O., Arashkevich A.G., Bastida I. 2012. The Large Aral Sea in the beginning of century 21: Physics, Biology, Chemisry. Nauka, Moscow, 229 p. [In Russian].

Zavialov P.O., Arashkevich A.G., Grabovsky A.B., Dikarev S.N., Dzhalilov G., Evdokimov Yu.V., Kudyshkin T.V., Kurbaniyazov A.K., Matchanov A.T., Ni A.A., Sapozhnikov F.V. and Tomashevskaya I.G. 2006. Quasisynoptical field studies in the western and eastern basins of the Aral Sea (October 2005). *Okeanologiya*, **46**(5): 750–754. [In Russian].

Zholdasova I.M., Kazakhbaev S., Elbaeva M.K., Embergenova U.S., Lyubimova S.K. and Mirabdullaev I.M. 2000. Finding out of Artemia in the open part of the Aral Sea. *Reports of the Academy of Sciences of Uzbekistan*, **12**: 48–50. [In Russian].

Zholdasova I.M., Pavlovskaya L.P. and Elbaeva M.K. 1999. Cardinal changes in the Aral Sea biota. *Uzbek Biological Journal*, **5**: 68–70. [In Russian].

Представлена 28 апреля 2016; принята 3 июня 2016.